

Requested Patent: JP2000113418A

Title:

MAGNETO-RESISTIVE HEAD BASED ON SPIN VALVE EFFECT AND MAGNETIC  
RECORDING AND REPRODUCING DEVICE USING THE SAME ;

Abstracted Patent: JP2000113418 ;

Publication Date: 2000-04-21 ;

Inventor(s):

NISHIOKA KOICHI; TAJIMA YASUNARI; IMAGAWA TAKAO; NARUSHIGE SHINJI ;

Applicant(s): HITACHI LTD ;

Application Number: JP19980280099 19981001 ;

Priority Number(s): ;

IPC Classification: G11B5/39 ;

Equivalents: ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spin valve sensor or head of high sensitivity which is stable to large external magnetic fields, has no antiferroelectric exchange bond layers and has laminated Fourier fixed layers. SOLUTION: The second ferromagnetic layers of the magneto-resistive head based on the spin valve effect having first ferromagnetic layers 44 and 45 and second ferromagnetic layers and conductive and nonmagnetic spacer layers 43 between the first and second ferromagnetic layers are composed of two sheets of ferromagnetic films A52 and ferromagnetic films B54 which are antiferromagnetically bonded to each other and antiferromagnetic films 53 for separating two sheets of the ferromagnetic films A52 and B54. The induction magnetic anisotropy constants of the ferromagnetic films A52 and the ferromagnetic films B54 are specified to  $\approx 70$ .

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-113418

(P2000-113418A)

(43)公開日 平成12年4月21日(2000.4.21)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 1 1 B 5/39

識別記号

F 1

G 1 1 B 5/39

テマコード(参考)

5 D 0 3 4

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平10-280099

(22)出願日 平成10年10月1日(1998.10.1)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 西岡 浩一

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 田島 康成

神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会

社日立製作所ストレージシステム事業部内

(74)代理人 100078134

弁理士 武 嗣次郎

最終頁に続く

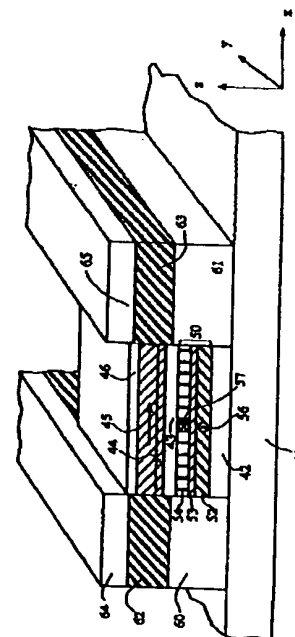
(54)【発明の名称】 スピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッド及びそれを用いた磁気記録再生装置

(57)【要約】

【課題】 大きな外部磁界に対して安定で、反強磁性交換結合層のない、積層フェリ固定層を有する高感度のスピンバルブセンサまたはヘッドの提供。

【解決手段】 第1の強磁性層44、45と、第2の強磁性層と、第1と第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層43と、を有するスピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A52及び強磁性膜B54と、2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜53と、から構成され、強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>)以上であり、且つ強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値である磁気抵抗効果型ヘッド。強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、 $\text{Co}_{100-Y-Z}\text{Fe}_Y\text{Ni}_Z$  (at%)  
 $Y \geq 5$   $Z \leq 20$   $Y+Z \leq 70$  である磁気抵抗効果型ヘッド。

【図8】



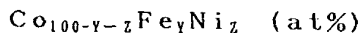
## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項2】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、



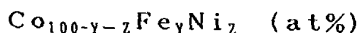
$$Y \geq 5$$

$$Z \leq 20$$

$Y+Z \leq 70$  であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項3】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、



$$Y \geq 5$$

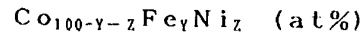
$$Z \leq 20$$

$Y+Z \leq 70$  であって、前記組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, AlPt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, AgまたはCuのうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項4】 磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、

前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚

の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、



$$Y \geq 5$$

$$Z \leq 20$$

$Y+Z \leq 70$  であって、前記組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タングステン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項5】 基板上に形成され、互いに反強磁性結合された2つの強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2つの強磁性膜A及びBを膜面で分離する反強磁性結合膜と、からなる積層フェリ固定層と、

前記積層フェリ固定層の強磁性膜Bに膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、

前記非磁性スペーサ層に膜面で隣接して形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、

前記積層フェリ固定層と前記非磁性スペーサ層と前記強磁性層とから構成される一定形状に加工されたスピナルバルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するCo基永久磁石膜と、

前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであって、

前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項6】 基板と、

前記基板上に形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、

前記軟磁気特性を有する強磁性層に膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、

前記非磁性スペーサ層と膜面で隣接する強磁性膜A、

前記強磁性膜Aと反強磁性的に交換結合する強磁性膜B、及び前記強磁性膜Aと強磁性膜Bを膜面で分離する

反強磁性結合膜、からなる積層フェリ固定層と、前記強磁性層と前記非磁性スペーサ層と前記積層フェリ固定層とから構成される一定形状に加工されたスピナルバルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するCo基永久磁石膜と、

前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピナルバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであって、

前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>) 以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値であることを特徴と

する磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項7】 基板上に形成され、互いに反強磁性結合された2つの強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2つの強磁性膜A及びBを膜面で分離する反強磁性結合膜と、からなる積層フェリ固定層と、前記積層フェリ固定層の強磁性膜Bに膜面で隣接して形成された非磁性スペーサ層と、前記非磁性スペーサ層に膜面で隣接して形成された軟磁気特性を有する強磁性層と、前記積層フェリ固定層と前記非磁性スペーサ層と前記強磁性層とから構成される一定形状に加工されたスピバルブ膜に、膜断面で隣接するように形成された下地膜を有するC<sub>o</sub>基永久磁石膜と、前記永久磁石膜に膜面で隣接する電極膜と、を備えたスピバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドであって、前記積層フェリ固定層の2つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界 $H_{ex}$ を前記永久磁石膜の保磁力 $H_c$ より十分大きくし、前記永久磁石の着磁の際の磁界 $H$ を、 $H_c < H < H_{ex}$ として、磁気記録媒体の対抗面と平行のスピバルブ膜面内方向に磁界印加して永久磁石膜を着磁することを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項8】 請求項1または2に記載の磁気抵抗効果型ヘッドを読み出しヘッドとして用い、磁気シールドで前記磁気抵抗効果型ヘッドと隔てられた磁気誘導型ヘッドを書き込みヘッドとして用い、前記読み出しヘッドと書き込みヘッドにより磁気記録媒体との情報を授受することを特徴とする磁気記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】スピバルブ効果に基づく磁気抵抗(MR)効果型ヘッド、このヘッドを用いた磁気記録再生装置、スピバルブ効果に基づく磁気抵抗(MR)センサに関する。

【0002】

【従来の技術】近年の磁気記録装置の高密度化にともない、再生用のセンサには、異方的磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗(MR)センサから、巨大磁気抵抗(GMR)効果を応用したスピバルブ型磁気抵抗センサに移行しつつある。スピバルブセンサは米国特許5159513号明細書に開示されている。

【0003】スピバルブ型磁気抵抗センサの本質的特徴は、固定層(Pinned layer)とよばれる強磁性層と、自由層(Free layer)とよばれる強磁性軟磁性層と、これら2層に直接隣接して挟まれた導電層と、固定層に直接接触する交換結合層が基本構成(即ち、自由層、導電層、固定層、交換結合層という順番の多層構成)で、これらの層に電流を通じる電極

と、バルクハウゼンノイズ(Barkhausen Noise)とよばれる自由層磁化の不均一性に起因するノイズを抑制するための縦バイアス磁界を印加するための縦バイアス層を有する。このセンサは、通常、磁気シールドとよばれる2つの強磁性体で挟まれる微小空間(磁気ギャップと呼ぶ)内に設けられており、記録媒体の磁化信号を高分解能で再生する。

【0004】固定層は、記録媒体対抗面と垂直方向に、磁化が固定されており外部磁界に対して容易にその磁化方向を変化させない。自由層磁化は、記録媒体からの磁界に応じてその向きを変えるため、固定層磁化と自由層磁化のなす角に変化を生じることにより磁気抵抗変化を生じる。この抵抗変化を信号として再生するのがスピバルブ型ヘッドの動作原理である。

【0005】交換結合層には通常反強磁性材料が用いられ、反強磁性材料としては、センサの動作温度範囲で固定層に与える交換結合磁界が十分大きいことが必要である。今までに知られている反強磁性材料としては、酸化ニッケル(NiO)、鉄-マンガン合金(FeMn)、ニッケル-マンガン合金(NiMn)などがあるが、酸化ニッケルと鉄-マンガン合金は交換結合が消失する温度(ブロッキング温度)が磁気記録装置の動作時のセンサ温度と同程度であるために実用に耐えない。また、ニッケル-マンガン合金は交換結合特性は十分実用に耐えるが、この特性を得るために、摂氏240度以上の高温で長時間の熱処理が必要であり、この熱処理間に自由層への他の材料の拡散が生じ、磁気抵抗効果が減少するという不利益を生じる。

【0006】このような要求の下、米国特許5583752号明細書に示されるように、固定層として、Ruの膜を挟んで強く反強磁性的に結合した2つの強磁性膜(以下、積層フェリ型構造とよぶ)を用い、上述の酸化ニッケル等の交換結合層を固定層に隣接させないタイプのスピバルブ構造が提案されている。この明細書中の実施例において、2つの強磁性膜としてC<sub>o</sub>を用い、すべての膜を積層した後に固定層の磁化方向を決定することが言及されている。

【0007】また、Crを下地に用い、強磁性膜としてC<sub>o</sub>を用い、反強磁性結合膜としてRuを採用した積層フェリ固定層スピバルブの検討結果がジャーナル オブアプライド フィジクス ボリューム83のpp3720~3723に報告されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者らの検討によると単体の強磁性C<sub>o</sub>膜を用いた場合、媒体対抗面と垂直方向に磁化容易方向を設定し、磁化を固定するのが難しいことが分かった。その理由は、C<sub>o</sub>膜は単元素の膜であるために、磁界による誘導磁気異方性を付与しにくいこと、及びC<sub>o</sub>膜の飽和磁歪定数が適当な値でないために、磁気弾性効果による磁気異方性が

媒体対抗面と垂直方向に付与されないためである。また、公知例ではすべての膜を積層してから固定層の磁化を決めることが記されているが、すべての膜を積層した後、固定層を飽和させる磁界を印加し磁化を揃えようとすると、磁界を取り去る際に固定層が磁区構造を形成し、目的とは逆に、磁化の均一性が悪化し、スピンバルブ特性が劣化させる。

【0009】また、Crを下地に用い、強磁性膜としてCoを用い、反強磁性結合膜としてRuを採用した積層フェリ型固定層スピンバルブでは、自由層の保磁力が50エルステッド程度と大きいために実用には適さないと考えられる。これは、Cr下地上のCoがhcp構造に近いので、その結晶磁気異方性が大きく、また面内でランダムにばらつくために膜面内に磁極が生じ、これら磁極から生じる磁界が自由層の磁化課程に悪影響を及ぼすためと考えられる。

【0010】本発明の目的は、交換結合層のない積層フェリ型固定層を有するスピンバルブ型センサ又は磁気ヘッドの固定層の磁化を一方向に揃えかつ、高出力化を実現する技術を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明は主として次のような構成を採用する。

【0012】磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの誘導磁気異方性定数が $2 \times 10^3$  (J/m<sup>3</sup>)以上であり、且つ前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの飽和磁歪定数が正の値である磁気抵抗効果型ヘッド。

【0013】また、磁界に対して比較的応答し易い第1の強磁性層と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と前記第2の強磁性層の間に導電性の非磁性スペーサ層と、を有するスピンバルブ効果に基づく磁気抵抗効果型ヘッドにおいて、前記第2の強磁性層は、互いに反強磁性結合された2枚の強磁性膜A及び強磁性膜Bと、前記2枚の強磁性膜A及びBを分離する反強磁性結合膜と、から構成され、前記強磁性膜Aと強磁性膜Bの組成は、

$\text{Co}_{100-y-z}\text{Fe}_y\text{Ni}_z$  (at%)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$ であることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を

用いて詳細に説明する。

【0015】「実施形態1」本発明は、外部磁界を検出するために広く適用できるものであるが(例えば、センサとして)、情報記録及び取り出しシステムのための読み出しヘッドとして特に有用なものであり、そこでは、情報は磁性媒体上の磁区の配列として記録されることとなっている。磁性媒体としては、どのような種類のものでもよく、例えば、磁気テープ、磁気ドラム、一つまたは複数のハードディスク、あるいは一つまたは一つまたは複数のフロッピーディスク等がある。磁区は、通常、トラックに添って配置され、トラックの構成としては、円環状、渦巻き状、らせん状、もしくは不定長のものがある。

【0016】代表的な情報記録および取り出し装置の一例を図1に示す。汎用計算機1は、ネットワーク、キーボード、スキャナー、もしくはこれら相当のものとの間に一つもしくは複数のインターフェースをもつ入力装置2を介して入力情報を受け取る。計算機は、一つもしくは複数の入力装置への接続に加え、一つもしくは複数の出力装置に出力することが可能である。この出力装置としては、計算機とインターフェースを介して接続する、ネットワーク、プリンタ、表示装置、あるいはモデム等が考えられる。計算機1に関連する他の記録装置に加え、計算機は周辺機器である磁気記録装置4へ情報を書き込んだり、磁気記録装置から情報を読み込んだりする。磁気記録装置は次の内部装置を含んでいる。

【0017】(1)制御装置5：情報信号を書き込みヘッド7に出力し、読み出しヘッド8から情報を入力し、更に、ヘッドからのフィードバック信号を受け取るためのデータの入出力部6を含む。

【0018】(2)ヘッド位置制御部9：ヘッド位置制御信号を出力し、また、ヘッド位置検出信号を入力する。

【0019】(3)モーター制御部10：磁性媒体のヘッドに対する相対的な運動に関する、速度、停止、開始等の操作を制御し、本実施形態の場合、一つあるいは複数のディスク型の磁性媒体13をシャフト12によって回転させるモータ11に、回転制御信号を出力する。各々独立した書き込みヘッド7と読み出しヘッド8とを有するトランスデューサーは、ディスク13とわずかに接触するか、わずかの間隙を保ってその上を浮上するように、連結アーム14とボイスコイルモータ(VCM)15を用いて、通常、ディスクの半径方向に動く。

【0020】上記のように、図1に示したデータ記録装置は、あくまでも代表的なものである。図1に示した装置の操作は自明であるため、ここでその詳細については説明しない。本発明は、図1の読み出しヘッド8の構成に特徴を有するものである。図2に読み出しヘッド8の具体的構造を示す。図1と図2によると、磁性媒体13の一部が、Z軸に沿って相対的に動く読み出しヘッド

8に対して、相対的な記録媒体の運動方向14を有することを示している。VCM15は相対的に読み出しヘッドと磁区のトラックにアクセスするために、X軸に沿って動く一方、磁区のトラックは、通常、読み出しヘッドに隣接したZ軸に沿って動く。磁性体13は、Z軸方向のトラックに沿って複数の磁区を有し、その磁界hは、VCM15がZ軸に沿って相対的に動くことによって、読み出しヘッドのY軸に沿って変化する。また、この磁界の変動が読み出される。

【0021】書き込みヘッド7と読み出しヘッド8は複数の層から構成され、その構成の一部が図2に示されているが、結合層、パッシベーション層などの従来からあるいくつかの層は図示されていない。製造工程では、まず、基板16を用意し、次にシールド17をその上に堆積させた後、さらにその上に読み出しセンサ18を成長させ、最後に、読み出し電流入力用電極19を読み出し電流出力用電極20をその上に堆積させ、一体として読み出しヘッドを形成する。

【0022】さらに、上部シールドあるいは下部コア21（下部コアが上部磁気シールドを兼用している）を堆積させ、つぎに、コイル22を堆積させ、その上に上部磁気コア24を形成する。例えば、アルミナからなる誘電層23を、センサ膜18と下部シールド17の間及びセンサ膜18と上部シールドの間に形成することが、より好ましい。読み出しセンサ膜であるスピバルブ膜18の両脇には縦バイアス磁界を与える永久磁石膜31及び32が配置される。

【0023】基板16は、セラミックスまたはセラミックス上に誘電体の膜を堆積したものをを用いることができる。上部及び下部磁気シールド21及び17には、パーマロイやセンダストや軟磁性を示すC<sub>60</sub>基非晶質材料または、軟磁性を示す微結晶系の強磁性材料等を用いることができる。

【0024】本実施形態にて採用した図2に示した構造は、一般的に、既知のものとなっており、本発明の実施形態は、読み出しセンサ18の構成とその形成方法に関するものである。ここで、読み出しヘッドは磁性媒体との情報の授受を行うに適した構成であり、読み出しセンサは磁性媒体からの情報に限らず、外部の磁界を検知するに適した構成である。

【0025】図8に、本発明の実施形態に係る読み出しセンサの具体的構成を示し、その詳細は「実施形態4」で後述するが、図8の構成を参照して説明すると、スピバルブ膜18は、磁界に対して比較的応答しやすい第1の強磁性層（以下、自由層と呼び、例えばC<sub>60</sub>膜44及びパーマロイ膜45に相当する）と、磁界に対して比較的応答し難い第2の強磁性層（以下、固定層と呼び、積層フェリ固定層50に相当する）と、これらの間に導電性の非磁性スペーサー層（例えば、Cu膜43に相当する）を有する。

【0026】本実施形態では、固定層50に、2つの強磁性膜（例えば、強磁性膜A52、強磁性膜B54に相当する）とこれらの強磁性膜（52と54）の間に反強磁性結合膜（例えば、Ru膜53に相当する）とを用いた積層フェリ型固定層50が、磁気記録装置に用いるためのスピバルブ型読み出しヘッドとして機能する構成を与える。

【0027】積層フェリ型固定層50の磁化の安定性には、これを構成する2つの強磁性膜の異方性磁界が影響する。異方性磁界の適切な値を求めるために、積層フェリ型固定層50の2つの強磁性膜の膜厚差を十分制御可能な有限の値（0.5nm）としたスピバルブ膜（強磁性膜A（4.0nm）/Ru（0.6nm）/強磁性膜B（3.5nm）/Cu/自由層（7.0nm））の磁気抵抗曲線を、強磁性膜A及び強磁性膜Bの異方性磁界を変えて計算した。

【0028】ここで、各強磁性膜はそれぞれ一斉回転（coherent rotation）するとし、自由層、強磁性膜A及び強磁性膜Bの飽和磁化を、スピバルブセンサ膜の代表的な値として、それぞれ1.00（T）、1.71（T）、1.71（T）とした。

【0029】また、スピバルブセンサ膜の代表的な値として、自由層の異方性磁界を400（A/m）、強磁性膜Aと強磁性膜B間の交換結合エネルギーを $J_{ex} = -1.12 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$ （交換結合磁界 $H_{ex} \approx 192 \text{ kA/m}$ ）、自由層と強磁性膜B間の交換結合エネルギーを $J_{int} = 7.2 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2$ （層間結合磁界 $H_{int} = 1040 \text{ A/m}$ ）とした。また、各強磁性膜は一つの方向（記録媒体対抗面と直交する方向）に容易軸を有する一軸磁気異方性を具備するとした。ここで自由層にはパーマロイを、2つの強磁性膜にはC<sub>60</sub>基材料を想定している。

【0030】計算した磁気抵抗曲線は、磁界を固定層の容易軸に印加した場合の、最大磁界4.8kA/m（情報の記録された磁性媒体からの磁界のセンサ膜18上での平均の強さに略相当する値）のマイナーループと、最大磁界80kA/m（情報の記録された磁性媒体からの磁界のセンサ膜18の媒体対向面での最大値に略相当する値）のメジャーループである。

【0031】図3に計算結果を示す。図3の $H_k$ は強磁性膜A又はBのそれぞれの異方性磁界の大きさであり、図3の3段目の異方性磁界2.4kA/mが後述する異方性定数 $2 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ に相当する値である。また、マイナーループ4.8kA/mは、磁気媒体からの磁界の強さを包含するものであり、メジャーループ80kA/mは、例えば記録媒体からの磁界のセンサ膜18の媒体対向面での最大値を包含するものである。

【0032】強磁性膜A及びBの単独膜の異方性磁界 $H_k$ が800（A/m）であって層間結合磁界 $H_{int}$ 1040より小さい場合、マイナーループに変化は見られず、

微小磁界を検出するセンサとしては機能しない。

【0033】強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $1.6 \text{ (kA/m)}$ であって層間結合磁界 $H_{int} 1040 \text{ (A/m)}$ より大きい場合、マイナーループに急峻な変化が生じており、微小磁界を検出するセンサ（例えば、磁性媒体の情報を検出する磁気ヘッド）としては機能する。また、メジャーリングでは約 $32 \text{ (kA/m)}$ 付近で急峻な抵抗変化を生じており、この外部磁界で積層フェリ固定層の磁化反転が起こっている。磁気記録装置では、センサ浮上側で最大 $40 \text{ (kA/m)}$ 程度の磁界が加わるので、 $32 \text{ kA/m}$ の磁界で固定層磁化が反転するのは、磁気記録装置用のセンサ膜（磁気ヘッド）としては固定層の安定性は十分でない。

【0034】強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $2.4 \text{ (kA/m)}$ （後述する異方性定数 $2 \times 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)}$ に相当する磁界）と大きい場合、マイナーループに急峻な変化が生じ、かつ、メジャーリングで見

$$M_{sf} H_{int} t_f < M_{s1} H_{k1} t_1 + M_{s2} H_{k2} t_2 \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $M_{sf}$ 、 $M_{s1}$ 、 $M_{s2}$ はそれぞれ、自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの飽和磁化であり、 $H_{int}$ 、 $H_{k1}$ 、 $H_{k2}$ はそれぞれ自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの単独の異方性磁界であり、 $t_f$ 、 $t_1$ 、 $t_2$ はそれぞれ、自由層、強磁性膜A、強磁性膜Bの膜厚である。

$$40 \text{ (kA/m)} < (M_{s1} H_{k1} t_1 + M_{s2} H_{k2} t_2) / |M_{s1} t_1 - M_{s2} t_2| \quad \cdots \cdots (2)$$

したがって、積層フェリ固定層の各強磁性膜の単独の異方性磁界は大きい方が、また、両強磁性膜の磁気モーメントの差は小さい方がよい。

【0040】強磁性膜の磁気異方性磁界を決める要素として、結晶磁気異方性、誘導磁気異方性及び磁気弾性効果 (Magnetoelastic Effect) がある。これらのうち、結晶磁気異方性は、多結晶のランダムに配向した結晶を有する膜では、異方性を一軸に揃えるのはむずかしい。また、誘導磁気異方性は、成膜時あるいは熱処理時の磁化の方向に、原子の局所的配列が生じることによって得ることができ、一軸磁気異方性を与える。さらに、磁気弾性効果は、磁性体に加わる異方的応力と磁性体の飽和磁歪定数によって決まり、一軸性の異方的応力の存在下では、一軸磁気異方性を与える。

【0041】センサ膜は膜面内でランダム方位を向く多結晶であることから、プロセス上制御可能な磁気異方性は、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による異方性である。そこで、本実施形態では、制御困難な強磁性膜の結晶磁気異方性をできるだけ小さくし、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による異方性によって異方性磁界を制御する。

【0042】アルミナ-チタン-カーバイドの基板上にベースとなるアルミナ膜を有し、その上に磁気シールドとよばれる2つの強磁性体で挟まれる磁気ギャップを有し、磁気ギャップ内に、強磁性膜A ( $2 \sim 5 \text{ nm}$ ) / R

られる積層フェリ固定層の磁化変化は $48 \text{ (kA/m)}$ と大きく、大きな外部磁界に対しても固定層は安定であり、磁気記録装置のセンサ膜として十分な機能を有する。

【0035】さらに、強磁性膜A及びBの単独の異方性磁界 $H_k$ が $8 \text{ (kA/m)}$ と大きい場合、マイナーループには急峻な変化が生じ、かつ、メジャーリングでは微小磁界でのステップ状の抵抗変化以外には変化は認められず、積層フェリ固定層磁化は、 $80 \text{ (kA/m)}$ 以下の磁界でも反転しない。従って、磁気記録装置のセンサ膜として十分な機能を有する。

【0036】以上の結果は、積層フェリ固定層の両強磁性膜の単独の異方性磁界を同じとしているが、一般的に両強磁性膜の異方性磁界が異なる場合、微小磁界センサとして機能するには、次の関係を満足する必要がある。

【0037】

【0038】また、一般には、積層フェリ固定層が記録媒体からの最大磁界に対して安定であるには次の関係を満足する必要がある。

【0039】

$u \text{ (0.6 nm)} / \text{強磁性膜B (2} \sim \text{5 nm)} / \text{Cu} / \text{自由層 (1} \sim \text{10 nm)}$  からなる構成のスピンバルブセンサを含み、磁気シールド上に記録ヘッドエレメントを有する磁気ヘッドにおいては、スピンバルブセンサ膜に記録媒体対抗面と垂直方向に引っ張りの一軸性の応力が加わる。固定層の磁化は記録媒体対抗面と直交する方向に磁化が固定されるべきであるから、強磁性膜の飽和磁歪定数は正にすべきである。

【0043】結晶磁気異方性を小さくするために、強磁性膜をCo合金膜とし、かつ適当な下地膜を用いることによって、その構造を面心立方晶 (fcc) 構造または体心立方晶 (bcc) 構造とする。結晶構造を面心立方構造または体心立方構造とするのは、その対称性から結晶磁気異方性が小さいからである。合金化するための元素と下地膜についての具体的な例は後述する。

【0044】また、誘導磁気異方性の制御は、CoにFe, Ni等を加え、原子のペアオーダリングによって誘導磁気異方性を大きくことにより実現できる。Co単独で強磁性膜を構成すると誘導磁気異方性を大きくすることはできず、CoにFe, Niを加えることによって誘導磁気異方性を大きくすることができる。

【0045】また、磁気弾性効果の制御は強磁性膜の合金組成の制御、即ちCoにFe, Ni等を加えることにより実現できる。

【0046】「実施形態2」積層フェリ固定層の強磁性

膜にCoを用いたスピバルブ膜として、その組成と膜厚について、ガラス基板/CoX/Ru0.6/Co(X=0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm)(前者)、及びガラス基板/Ta5/CoX/Ru0.6/Co(X=0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm)(後者)膜を、膜厚Xを3, 4, 5, 7として、合計8種類の膜を作成した。Co成膜時には一つの方向に磁界を印加した。

【0047】図4の(C)と(D)には、磁気抵抗曲線の例を示す。これらは、X=4の場合の前者(下地無)及び後者(Ta下地)の構成の磁気抵抗曲線である。測定時の磁界は成膜時に印加した磁界と同じ方向とした。

【0048】(C)(D)の曲線は、ゼロ磁界付近に大きなステップ状の抵抗変化は認められず、磁気抵抗センサとして望ましくない。Co膜厚Xを3, 5, 7とした場合も同様に、望ましい磁気抵抗変化は認められず、純Co膜は積層フェリ固定層の強磁性膜として用いるのが難しい。この原因は、純Co膜は単元素のために誘導磁気異方性が小さいこと及び磁歪定数が適切でないためである。

【0049】そこで、適切な誘導磁気異方性を、成膜時の印加磁界方向に生じさせるために、また、磁歪定数を正とするために、積層フェリ固定層の強磁性膜をCoFe合金としたスピバルブ膜(ガラス基板/CoX/Ru0.6/Co(X=0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3nm(X=3, 4, 5, 7)、及びガラス基板/Ta5/CoX/Ru0.6/Co(X=0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3nm膜(X=3, 4, 5, 7)を作成し、磁気抵抗曲線を測定した。成膜時には先ほどと同様に一方向に磁界を印加し、測定時にはその方向に磁界を印加した。

【0050】その結果例を図4の(A)と(B)に示す。膜構成は(A)が、ガラス基板/Ta5/CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3(nm)であり、(B)が、ガラス基板/CoFe4/Ru0.6/CoFe3.5/Cu2.3/Co1/NiFe5.0/Ta3nmである。ここでCoFe膜の組成は、Fe10at%で残部がCoである。磁気抵抗曲線はゼロ磁界付近の小さな磁界でステップ上に变化しており、磁気抵抗センサとして望ましい性能を示す。X=3, 5, 7のCoFe膜厚が異なるスピバルブ膜でも、同様にゼロ磁界付近でステップ上に抵抗変化を示しており、磁気抵抗センサとして望ましい。

【0051】図5にはCo及びFe14at%組成のCoFeの磁化容易軸方向の保磁力の膜厚依存性を示すが、Coでは保磁力が約1.6(kA/m)であるが、CoFeでは保磁力は4から4.8(kA/m)と大きい。この様な保磁力の変化は、Feを添加することにより誘導異方性エネルギーが増大したためであり、Fe添

加による磁気異方性の増加が固定層磁化を安定化し、磁気抵抗センサとしての望ましい性質を与えている。ここでは14at%Fe組成の例を示したが、Fe組成をさらに増やす誘導磁気異方性定数は増大しCo-Fe50wt%付近で最大をとる。

【0052】したがって、Fe組成をさらに増やすのはさらに有効である。また、Niの添加は、異方性エネルギーは低下するが、異方性の分散を小さくし、スキューを小さくする効果があるために、積層フェリ固定層磁化を均一にし、ある程度の添加は、磁気抵抗効果を大きくする働きを有する。

【0053】積層フェリ固定層を有するスピバルブを固定層を構成する強磁性膜の組成を様々に変化させた結果、つぎの組成を満足するのが望ましいことが分かった。

$$\begin{aligned} \text{Co}_{100-Y-Z}\text{Fe}_Y\text{Ni}_Z \quad (\text{at}\%) \quad (3) \\ Y \geq 5 \quad (4) \\ Z \leq 20 \quad (5) \\ Y+Z \leq 70 \quad (6) \end{aligned}$$

また、これらの合金にPt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Cuのうちの一種またはそれ以上を添加することによって、強磁性膜の保磁力を増大する効果を有する。保磁力の増大もまた、積層フェリ固定層の外部磁界に対する安定性を増す効果がある。この組成では、誘導磁気異方性による異方性定数を $2 \times 10^3 \text{ (J/m}^3\text{)}$ 以上であり、飽和磁歪定数を正となっている。

【0055】「実施形態3」積層フェリ固定層を用いたスピバルブセンサ膜の固定層の強磁性膜のうちCuに接しない方の強磁性膜Aは磁気抵抗変化に寄与しない。従って、ここを流れる電流は磁気抵抗変化に影響しないシャント電流であり、磁気抵抗変化を減少させる。従って、強磁性膜Aに流れる電流は極力小さくした方がよい。上述の(3)~(6)式組成の強磁性膜は比抵抗が約 $0.3 \mu\Omega\text{m}$ と小さく、シャント電流が大きい。電極から流れる全電流の中で強磁性膜Aに流れる電流(磁気抵抗変化に影響ない電流)が大きいと、磁気抵抗効果が小さくなる。

【0056】強磁性膜A(4nm)/Ru(0.6nm)/強磁性膜B(3.5nm)/Cu(2.3nm)/NiFe(7nm)なる構成膜で、全体の電流に対する、強磁性膜B(3.5nm)/Cu/NiFe(7nm)層を流れる電流の比を分流比と定義すると、分流比はセンサの出力に比例する。(3)~(6)式組成の膜を強磁性膜A及び強磁性膜Bに用いた場合、分流比は約0.7となる。ここで強磁性膜Aの比抵抗を例えば $3 \mu\Omega\text{m}$ と大きくすれば、分流比は約0.9となり、センサの出力は約30%増大する。強磁性膜Aの比抵抗が $2 \mu\Omega\text{m}$ となっても分流比は0.85になり、センサ出力は約20%増大する。



【0057】積層フェリ固定層の強磁性膜の比抵抗を増大する方法としては、式(3)～(6)で規定される合金にNb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Alをのうちの一種またはそれ以上を添加することである。これにより、分流比が大きくなり、結果としてセンサ出力が増加する。これら元素は材料の構造を非品質化する働きも強く、非品質材料を固定層の強磁性膜として用いるのも、非品質は比抵抗が大きいために、有効である。

【0058】また、積層フェリ固定層の強磁性膜の比抵抗を更に増大する方法としては、式(3)～(6)で規定される合金に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タングステン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いることができる。これらの酸化物の添加は10mol%程度の添加で比抵抗を2( $\mu\Omega\text{m}$ )程度まで大きくすることができ、センサの出力向上ができる。

【0059】「実施形態4」ガラス上にアルミナ膜を成膜した基板の上に、次に示す構成の積層フェリ固定層スピバルブを作成し、その固定層の外部磁界に対する安定性を評価した。その構成は、(A)基板/Ta5/CoFeX/Ru0.6/CoFe(X=0.5)/Cu2.3/Co1.0/NiFe5/Ta3(nm)、(B)基板/CoFeX/Ru0.6/CoFe(X=0.5)/Cu2.3/Co1/NiFe5/Ta3(nm)であり、CoFeの膜厚を変化させた。

【0060】ここで、CoFe膜のFe組成はFe14at%で、残部Coである。試料の作成はRFマグネトロンスパッタリングにより行った。このスピバルブ固定層安定性を固定層磁化と直交方向に磁界を印加して調べた。

【0061】図6に、磁界印加後のスピバルブ膜の磁気抵抗変化を印加磁界 $H_{ex}$ を横軸にして示す。縦軸の磁気抵抗変化はマイナーループ(測定磁界600e)の結果である。Ta下地を有するスピバルブでは、X=3nmで320kA/mの磁界を印加してもスピバルブの磁気抵抗は変化しないが、360kA/mの磁化を印加するとスピバルブの磁気抵抗曲線の抵抗変化は50%に減少し、センサ膜は損傷を受ける。

【0062】この抵抗変化の減少は、強磁界印加後に固定層が多磁区(multipledomains)構造に変化するためである。センサが損傷を受ける磁界は、Xが4nm、5nm、7nmと大きくなると240kA/m、200kA/m、136kA/mと減少していく。

【0063】図7には固定層の強磁性膜Aと強磁性膜Bの間の反強磁性的交換結合磁界 $H_{ex}$ のCoFe膜厚依存性を示すが、X=3nmでは $H_{ex}=336\text{kA/m}$ 、X

=4nmでは $H_{ex}=232\text{kA/m}$ 、X=5nmでは $H_{ex}=160\text{kA/m}$ 、X=7nmでは $H_{ex}=128\text{kA/m}$ である。この値は上述の損傷を受ける磁界とほぼ同じであり、交換結合磁界を越える外部磁界が印加されるとセンサ膜は損傷を受けることが分かる。損傷を受ける磁界を大きくするには、強磁性膜Aと強磁性膜Bの間の交換結合磁界を大きくするのが望ましい。交換結合磁界をさらに大きくする方法としては、Ru膜厚を最適化(0.4～0.5nm)する方法と、強磁性膜A、Bを薄くする方法がある。

【0064】Ta下地のない固定層を自由層の下側に置いたスピバルブ(B)では、図6から分かるように、損傷を受ける磁界は、X=4nmでは $H_{ex}=280\text{kA/m}$ 、X=5nmでは $H_{ex}=224\text{kA/m}$ 、X=7nmでは $H_{ex}=160\text{kA/m}$ であり、Ta下地がある場合の結果と同じ膜厚同士で比べると、Ta下地がない場合の方がTa下地がある場合に比べて、損傷を受ける磁界が大きくなっている。これは、図7から分かるように、Ta下地がない場合の方がTa下地がある場合に比べて、交換結合磁界 $H_{ex}$ が大きいためである。

【0065】図8には望ましいセンサの構成を示す。センサ膜は、2つの磁気シールドに挟まれた空間にセンサは形成されるが、図8は、磁気シールドを省略して記述している。本実施形態では、磁気シールド間に形成された絶縁膜41上に下地膜Ta膜42を形成する。この膜としては他に、Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, Ir膜またはこれらの内2種以上の合金膜を用いることもできる。また、この膜は省略することもできる。これらの膜を用いると、強磁性膜A、Bの誘導磁気異方性を大きくする効果があり、積層フェリ固定層の性能を損なうことなく磁気抵抗効果を大きくできる。

【0066】この上に、強磁性膜Aとして膜厚X(nm)のFe組成14at%のCoFe膜52を形成する。形成時には、y方向に、一方向磁界を印加56し磁気異方性を誘導する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」～「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。次に膜厚1(nm)以下のRu膜53を形成する。

【0067】次に、強磁性膜Bとして、膜厚Y(nm)のFe組成10at%のCoFe膜54を形成する。このときも、52を形成するときと同様、y方向に一方向磁界を印加57する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」～「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。強磁性膜A52とRu膜53と強磁性膜B54とで積層フェリ固定層50を構成する。

【0068】次に、膜厚2.0～3.5nmのCu膜43を形成する。この膜の材料としてCuの代わりにAuやAgを用いることもできる。

【0069】次に、膜厚2.0nm以下のCo膜44を形成する。この膜の材料としてCoの代わりにCoFe

やCoFeNi合金膜を用いることもできる。次に、膜厚10nm以下のパーマロイ（Fe組成10～30at%のNiFe合金）膜45を形成する。次に、膜厚5nm以下のTaからなるキャップ層46を形成する。

【0070】キャップ層46としてはTa以外の材料、例えばRu, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, Rhまたは、これらのうちの2種以上の合金を用いることもできる。これらの膜は同一真空中で、例えばRFマグネトロンスパッタリング法により作成する。これら42, 52, 53, 54, 43, 44, 45及び46からなるスピナバルブ膜の両脇に、Crからなる下地膜60, 61を形成し、その上にCo基の永久磁石膜62, 63を作成する。

$$H_c < H < H_{ex}$$

従って、 $H_{ex}$ は永久磁石の保磁力に比べて十分大きく設計する必要がある。通常永久磁石膜の保磁力としては80kA/m～160kA/mが用いられるので、 $H_{ex}$ としては200kA/m以上が必要となる。これを満足するには、Ta下地なしのスピナバルブセンサ膜を用いる場合は、強磁性膜Aの膜厚Xを5.5nm以下に、Ta下地を有するスピナバルブ膜を用いる場合、強磁性膜Aの膜厚Xを4.5nm以下にする必要がある。

【0074】また、強磁性膜Aと強磁性膜Bに同じ材料を用いる場合、強磁性膜Bの膜厚Yは強磁性膜Aの膜厚Xより1nm以下の膜厚差で薄くするの望ましい。これは強磁性膜Aより強磁性膜Bの方が厚くなると、強磁性膜Bの成膜の終期に強磁性膜Bの磁化の磁界エネルギーを安定化すべく回転し、固定層磁化が所望の方向から外れるためである。

【0075】「実施形態5」図9には別のセンサの構成を示す。センサ膜は、2つの磁気シールドに挟まれた空間にセンサは形成されるが、本図は磁気シールドを省略して記述している。本実施形態では、磁気シールド間に形成されたアルミナ膜71上に下地膜Ta膜72を形成する。この膜としては他に、Ti, Hf, Zr, W, V, Nb, Ru, Os, Ir膜またはこれらの内2種以上の合金膜を用いることもできる。この上に、膜厚10nm以下のパーマロイ（Fe組成10～30at%のNiFe合金）膜75を形成する。

【0076】次に、膜厚2nm以下のCo膜74を形成する。この膜の材料としてCoの代わりにCoFeやCoFeNi合金膜を用いることもできる。次に、膜厚2.0～3.5nmのCu膜73を形成する。この膜の材料としてCuの代わりにAuやAgを用いることもできる。次に、強磁性膜Aとして膜厚X（nm）のFe組成14at%のCoFe膜82を形成する。形成時には、y方向に、一方向磁界を印加し磁気異方性を誘導する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」と「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。

【0071】さらに、その上にスピナバルブ膜に電流を通じるための電極膜64, 65を形成する。ここで、永久磁石膜としては、CoCrPt, CoPtまたはCoCrTaなどが用いられる。また、Co-ZrO<sub>2</sub>のように、下地膜がなくても十分な保磁力を与える場合、Cr下地膜を省略することもできる。永久磁石膜は、センサの完成後に、45の矢印方向に磁界を印加して着磁する必要がある。

【0072】ここで、積層フェリ固定層50の反強磁性的結合磁界を $H_{ex}$ とし、永久磁石膜の保磁力を $H_c$ とし、着磁の際に素子に加わる正味の印加磁界をHとすると、正味の印加磁界は次の関係を満足する必要がある。

【0073】

..... (5)

【0077】次に膜厚1（nm）以下のRu膜83を形成する。次に、膜厚Y（nm）のFe組成14at%のCoFe膜84を形成する。このときも、82を形成するとと同様、y方向に一方向磁界を印加する。この膜の材料としてCoFeの代わりに「実施形態2」と「実施形態3」で述べた材料を用いることもできる。次に、膜厚5nm以下のTaからなるキャップ層76を形成する。キャップ層としてはTa以外の材料、例えばRu, Pd, Pt, Au, Ag, Cu, Ir, Rhまたは、これらのうちの2種以上の合金を用いることもできる。

【0078】これらの膜は同一真空中で、例えばRFマグネトロンスパッタリング法により作成する。これら72, 82, 83, 84, 73, 74, 75及び76からなるスピナバルブ膜の両脇に、Crからなる下地膜90, 91を形成し、その上にCo基の永久磁石膜92, 93を作成する。

【0079】さらに、その上にスピナバルブ膜に電流を通じるための電極膜94, 95を形成する。ここで、永久磁石膜としては、CoCrPtやCoPtやCoCrTaなどが用いられる。また、Co-ZrO<sub>2</sub>のように、下地膜がなくても十分な保磁力を与える場合、Cr下地膜を省略することもできる。また、実施形態4と同様、交換結合磁界 $H_{ex}$ は永久磁石膜の保磁力より大きくする必要がある。また、この実施形態においても、実施形態4と同様、強磁性膜Aと強磁性膜Bに同じ材料を用いる場合、強磁性膜Bの膜厚Yは先に成膜する強磁性膜Aの膜厚Xより1nm以下の膜厚差で薄くするの望ましい。

【0080】以上、本発明について、種々の実施形態を説明したが、これを取りまとめると、次のような構成、作用乃至機能を奏するものが本発明の実施形態として含まれるものである。

【0081】スピナバルブセンサ又はヘッドでは、固定層磁化を媒体対抗面垂直に設定するのが望ましい。そのために、成膜時に媒体対抗面垂直方向に磁界印加して、強磁性膜の磁化容易軸を設定する。異方性定数Kuの大大

きは  $2 \times 10^3$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) 以上とする。そして、強磁性膜の飽和磁歪定数を正にする。また、強磁性膜の結晶磁気異方性を小さくすることによって固定層内に生じる磁極を小さくする。

【0082】結晶磁気異方性を小さくし、誘導磁気異方性による異方性定数を  $2 \times 10^3$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) 以上に制御し、飽和磁歪定数を正にするために、強磁性膜をCoを含む合金膜とし、その組成を次式を満足する組成とする。即ち、次の組成を構成として採用すれば、前述の機能を満足するものとなるのである。

【0083】 $\text{Co}_{100-Y-Z}\text{Fe}_Y\text{Ni}_Z$  (at%)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$

また、スピナル膜の成膜時の磁界を10(媒体対向面に垂直方向)の方向に印加することで、磁化容易軸を媒体対抗面垂直方向に設定する。磁界の大きさは単体強磁性膜の異方性磁界即ち、 $2\text{Ku}/\text{Ms}$ の2~4倍が適切である。ここで、 $\text{Ms}$ は強磁性膜の飽和磁化である。また、2つの強磁性膜の先に成膜する膜を、後で成膜する膜の膜厚よりある程度厚くする。

【0084】また、センサの出力をさらに、増大する方法として、積層フェリ固定層の二つの強磁性膜の内、少なくとも自由層から遠い方の強磁性膜の材料を、上記のCoNiFe合金組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Al, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, AgまたはCuのうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加して得られる強磁性材料とする。

【0085】センサ出力を更に増大する別の方法としては、上記のCoNiFe合金組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タングステン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いることである。これらの酸化物の添加は10mol%程度の添加で比抵抗を2( $\mu\Omega\text{m}$ )程度まで大きくすることができ、センサの出力向上ができる。

【0086】また、自由層の磁区制御するためにスピナル膜の両脇に縦バイアスを付与する永久磁石膜を設ける場合、永久磁石膜を着磁するための磁界を加える際に、積層フェリ固定層の強磁性膜が磁気飽和すると、磁界を取り去った後に、固定層が多磁区化するためにセンサの感度が低下するという問題がある。

【0087】このような固定層の多磁区化を避けるためには、積層フェリ固定層の2つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界 $H_{ex}$ を永久磁石膜の保磁力 $H_c$ より十分大きくし、永久磁石の着磁の際の反磁界を除く正味の磁界 $H$ を

$H_c < H < H_{ex}$

とするのが望ましい。そのためには、 $H_{ex}$ をできるだけ大きくするために、強磁性膜A、Bの膜厚を薄くするのが望ましい。本発明の構成においては、5.5nm以下にするのが望ましい。

【0088】強磁性膜の材料組成を、

$\text{Co}_{100-Y-Z}\text{Fe}_Y\text{Ni}_Z$  (at%)

$Y \geq 5$

$Z \leq 20$

$Y+Z \leq 70$

とするのは、結晶構造を面心または体心立方構造とし、成膜時の磁界の向きに異方性定数にして  $2 \times 10^3$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ) 以上の誘導磁気異方性を付与し、飽和磁歪定数を正にするためである。この異方性定数の大きさは、記録媒体からセンサに加わる磁界にたいして固定層が安定となる大きさである。

【0089】積層フェリ固定層の二つの強磁性膜の内、少なくとも自由層から遠い方の強磁性膜の材料を、上記CoNiFe合金組成に、Nb, Zr, Ti, Hf, Ta, W, Mo, V, Cr, Al, Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Au, AgまたはCuのうちの一種またはそれ以上の種類の元素を添加して得られる強磁性材料とするのは、磁気抵抗変化に寄与しないシャント電流の全体の電流に対する比率を小さくするためである。

【0090】上記のCoNiFe合金組成に、アルミニウム酸化物、ジルコニウム酸化物、タンタル酸化物、チタン酸化物、ハフニウム酸化物、ニオブ酸化物、クロム酸化物、タングステン酸化物、モリブデン酸化物、バナジウム酸化物のうちの一種またはそれ以上の種類の酸化物を添加して得られる強磁性膜を用いるのも、磁気抵抗変化に寄与しないシャント電流の全体の電流に対する比率を小さくするためである。

【0091】積層フェリ固定層の2つの互いに反強磁性結合する強磁性膜の交換結合磁界 $H_{ex}$ を永久磁石膜の保磁力 $H_c$ より十分大きくし、永久磁石の着磁の際の磁界 $H$ を、

$H_c < H < H_{ex}$

とするのは、着磁界が大きすぎて、積層フェリ固定層に多磁区構造を与えないようにするためである。

【0092】また、先に作成する強磁性膜の厚さを、後に作成する強磁性膜より、膜厚差1(nm)以下で厚くする。これにより積層フェリ固定層の磁化は、成膜時の印加磁界の方向に安定となり、FeMnやNiOなどの反強磁性交換結合層がなくても、40kA/m以上の外部磁界に対しても安定である。

【0093】

【発明の効果】本発明によれば、積層フェリ型固定層を有するスピナル膜センサ膜の固定層を構成する強磁性膜の組成を適切に選択し、センサ膜を成膜する際に適切な大きさの磁界を望ましい方向に印加することで、セン

サ膜の誘導磁気異方性定数も一定の値以上に制御し、飽和磁歪定数も望ましい正の値に制御する。

【0094】これにより、誘導磁気異方性と磁気弾性効果による磁気異方性をあわせた磁気異方性の容易軸方向とその定数の大きさを、スピナルブセンサの積層フェリ固定層として望ましい状態に実現する。

【0095】これによって、固定層に、FeMnやNiOなどの反強磁性の交換結合層を有しない型のスピナルブセンサを、制御性良く作成することができる。

【0096】また、積層フェリ固定層の強磁性膜に添加元素を各種加え得た材料を用いることで、センサ特性を向上する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る、磁気記録再生装置の概略を示す図である。

【図2】本発明のスピナルブセンサを用いた磁気記録再生装置用磁気ヘッドを示す図である。

【図3】積層フェリ固定層を有するスピナルブ膜の磁気抵抗曲線図であり、前記固定層を構成する強磁性膜の異方性磁界を変えた複数の場合についての磁気抵抗曲線図である。

【図4】積層フェリ固定層の強磁性膜に14at%Fe組成のCoFeを用いた場合と、Coを用いた場合のスピナルブ膜の磁気抵抗曲線を示す図であり、(A)はTa下地膜を有し、CoFeを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(B)はTa下地膜なしで、CoFeを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(C)はTa下地膜なしで、Coを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図であり、(D)はTa下地膜を有し、Coを強磁性膜に用いた場合の磁気抵抗曲線図である。

【図5】Co膜及び14at%FeからなるCoFe膜の保磁力の強磁性膜厚依存性を示す図であり、基板にはガラス基板を用い、下地膜として、Ta膜がある場合とない場合についての図である。

【図6】積層フェリ固定層の強磁性膜に14at%Fe組成のCoFeを用いたスピナルブの外部磁界に対するセンサ膜の安定性を示す図であり、縦軸には素子の磁

気抵抗変化を、横軸には固定層の容易軸と直交方向に印加した磁界の強さを示し、CoFe強磁性膜の膜厚を変えた複数の場合について調べた結果を示す図であり、下地Ta膜がある場合とない場合についての結果を示した図である。

【図7】膜厚X(nm)のCoFe強磁性膜と膜厚(X-0.5)(nm)のCoFe強磁性膜を膜厚0.6(nm)のRu膜で挟んだ構成の積層フェリ固定層の交換結合磁界 $H_{ex}$ の膜厚X依存性を示す図であり、Ta下地膜がある場合と無い場合の結果を示す図である。

【図8】積層フェリ固定層を用いたスピナルブセンサの構造を示す図である。

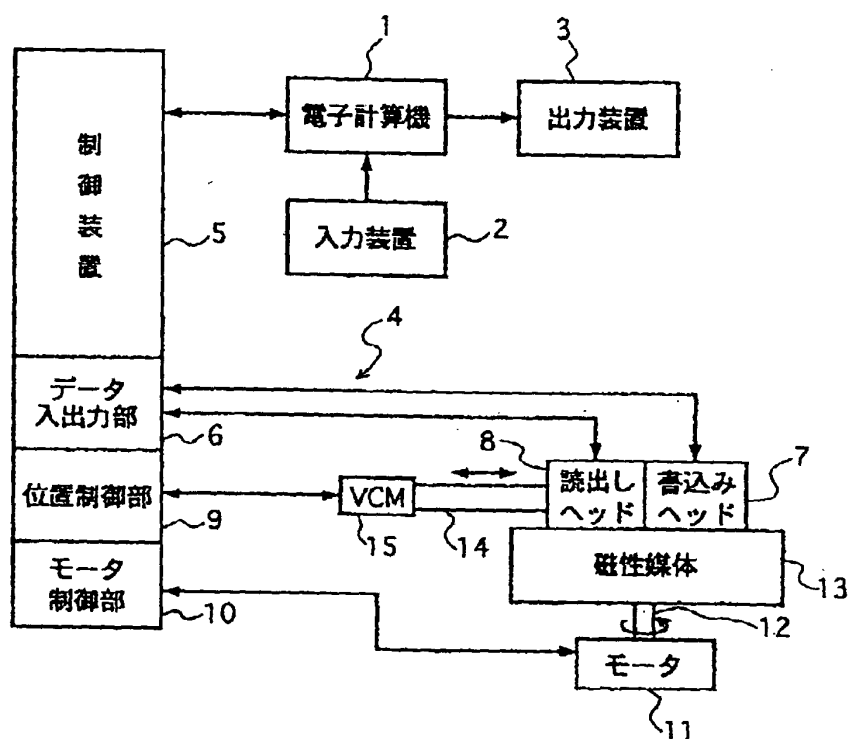
【図9】積層フェリ固定層を用いたスピナルブセンサの図7とは異なる構造を示す図である。

#### 【符号の説明】

16 基板	17, 21 磁気シールド
18 スピナルブ膜	19, 20 電極
22 コイル	23 再生ギャップ
24 磁気コア	31, 32 永久磁石膜
41 絶縁膜	42 下地膜
43 非磁性導電膜	44 Co膜
45 パーマロイ膜	46 キャップ
50 積層フェリ固定層	52 強磁性膜
53 反強磁性結合膜	54 強磁性膜
56, 57 磁化方向	60, 61 下地膜
62, 63 永久磁石膜	64, 65 電極
71 絶縁膜	72 下地膜
73 非磁性導電膜	74 Co膜
75 パーマロイ膜	76 キャップ
80 積層フェリ固定層	82 強磁性膜
83 反強磁性結合膜	84 強磁性膜
86, 87 磁化方向	90, 91 下地膜
92, 93 永久磁石膜	94, 95 電極

【图1】

【图 1】

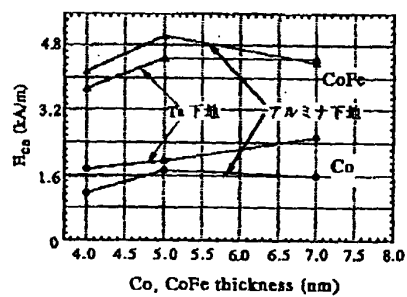
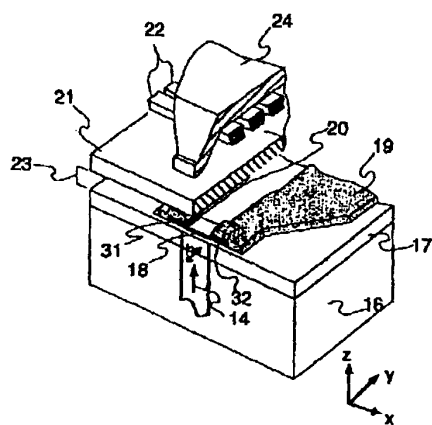


【図2】

【図5】

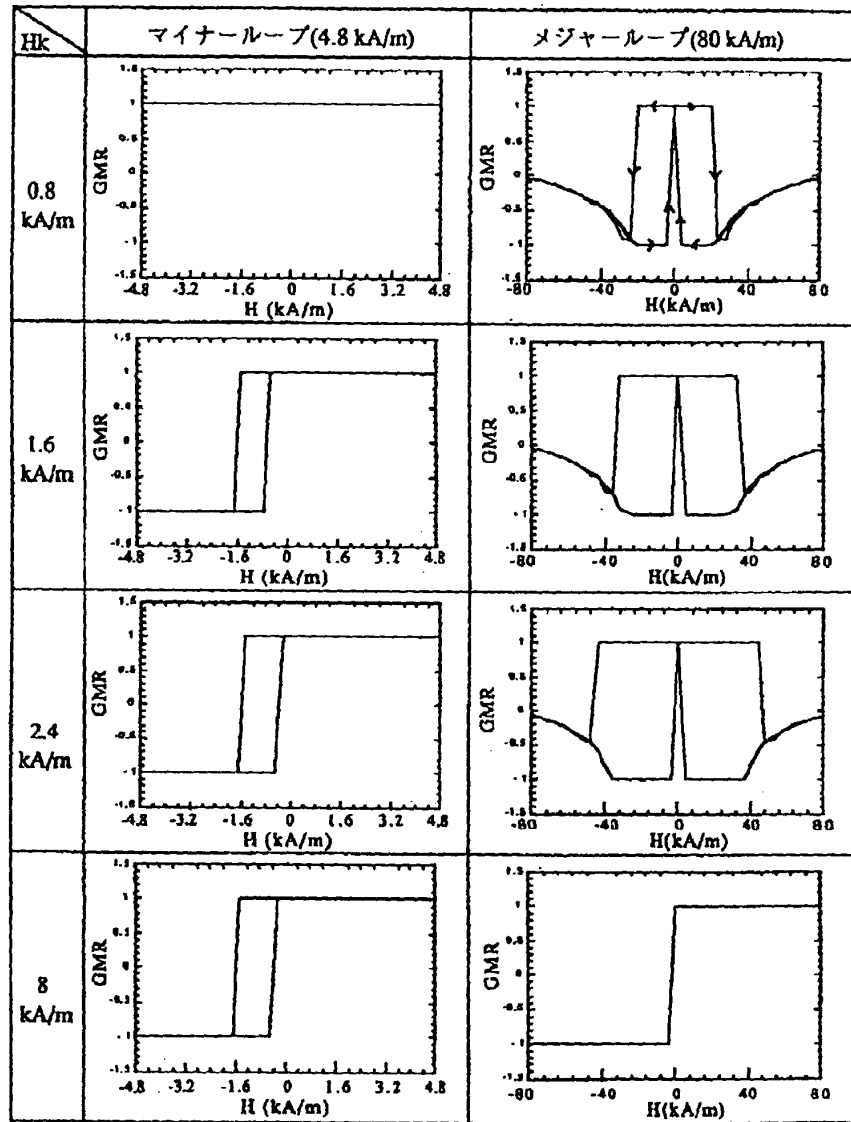
【图 2】

( १२५ )



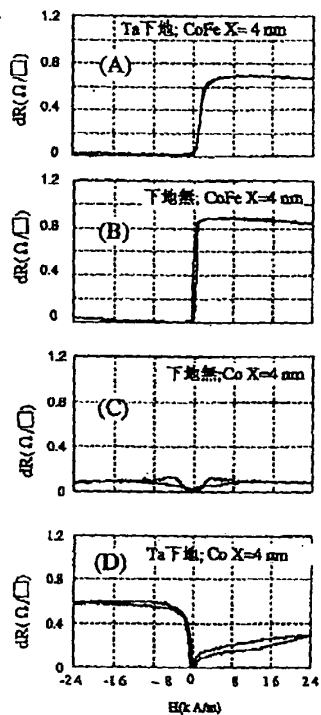
【図3】

【図3】



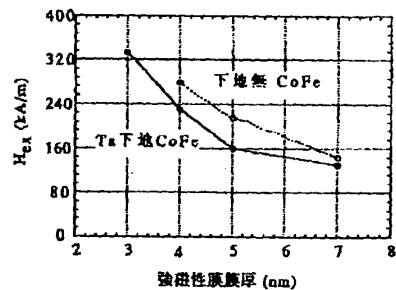
【図4】

【図4】



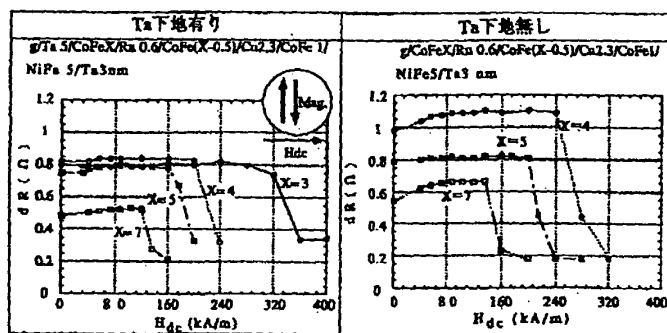
【図7】

【図7】

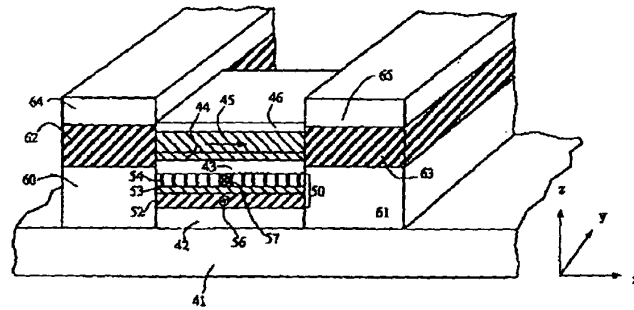


【図6】

【図6】

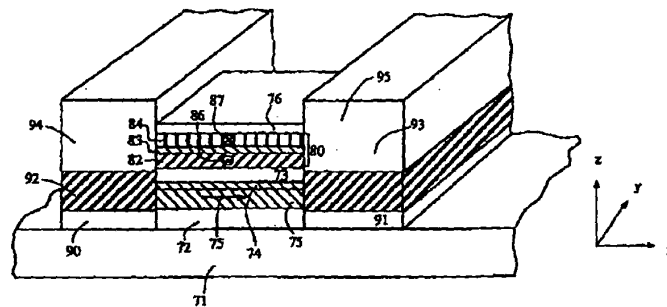


【図8】



【 図 8 】

【図9】



【 図 9 】

フロントページの続き

(72)発明者 今川 尊雄  
神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会  
社日立製作所ストレージシステム事業部内

(72)発明者 成重 眞治  
神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会  
社日立製作所ストレージシステム事業部内  
Fターム(参考) 5D034 BA03 BA05 BA15 BB01 CA04